

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-149788  
(43)Date of publication of application : 02.06.1998

(51)Int.Cl.

H01J 37/08  
H01J 27/16  
H01J 37/317  
H01L 21/3065

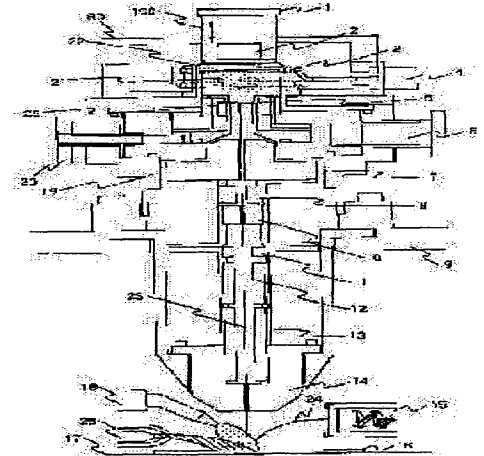
(21)Application number : 08-308319  
(22)Date of filing : 19.11.1996

(71)Applicant : HITACHI LTD  
(72)Inventor : MIZUMURA MICHINOBU  
HAMAMURA YUICHI  
AZUMA JUNZO  
NISHIMURA NORIMASA  
SHIMASE AKIRA

(54) MANUFACTURE AND TREATMENT OF SEMI-CONDUCTOR DEVICE, HELICON WAVE PLASMA ION SOURCE, AND FOCUS TON BEAM DEVICE

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To prevent the generation of electrical pollution and contamination so as to enable the fine working, fine film formation and observation in relation to a desirable position of a sample by providing a helicon wave plasma ion source, which excites helicon wave so as to convert the gas to plasma and which emits the ion beam, and an electrostatic optical system for focusing the emitted ion beam.  
**SOLUTION:** A helicon wave plasma ion source 100 is formed of a magnet holder 1, a helicon wave exciting antenna 3 for transmitting the electromagnetic wave in parallel with a magnetic filed, which is generated by a magnet 2, so as to excite the helicon wave for conversion to plasma, and an ion withdrawal assembly 5. Ion beam 23 drawn from the assembly 5 is implanted to a material 16 to be worked through a focus lens 7 and an objective lens 14, which form an electrostatic optical system, and at the same time with the working, secondary charged particles 24 are generated, and a secondary ion image can be obtained through a secondary charged particle detecting unit 15 so as to enable the working without generating a displacement of working position, and so as to enable the inspection and observation.



## LEGAL STATUS

|   |            |
|---|------------|
| [Date of request for examination]   | 07.09.2000 |
| [Date of sending the examiner's decision of rejection]  |            |
| [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration] |            |
| [Date of final disposal for application]  |            |
| [Patent number]   | 3350374    |
| [Date of registration]  | 13.09.2002 |

特開平10-149788

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月2日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 J 37/08

H 0 1 J 37/08

27/16

27/16

37/317

37/317

D

H 0 1 L 21/3065

H 0 1 L 21/302

D

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号

特願平8-308319

(22) 出願日

平成8年(1996)11月19日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者

水村 通伸

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式

会社日立製作所生産技術研究所内

(72) 発明者

濱村 有一

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式

会社日立製作所生産技術研究所内

(72) 発明者

東 淳三

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式

会社日立製作所生産技術研究所内

(74) 代理人

弁理士 高橋 明夫 (外1名)

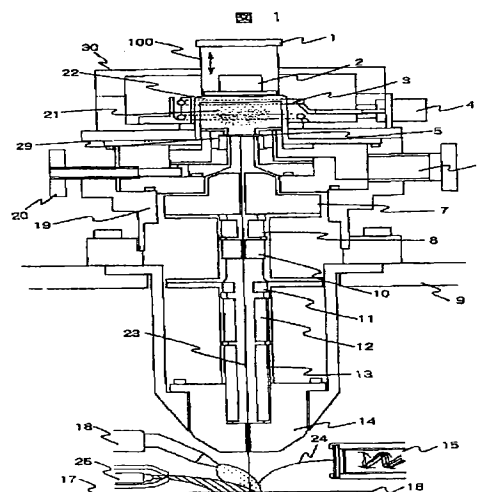
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体デバイスの製造方法及び処理方法並びにヘリコン波プラズマ型イオン源及び集束イオンビーム装置

(57) 【要約】

【課題】 半導体デバイス等の試料の電気的特性に悪影響を与えずに加工、観察ができ、しかも加工速度の向上、チャージアップの防止や選択比の向上を可能とする改良がなされた集束イオンビーム装置並びに処理方法および半導体デバイスの製造方法を実現する。

【解決手段】 ヘリコン波プラズマイオン源100からイオンビームの電流密度を増加し、半導体デバイス等の試料の電気的特性に悪影響を与えないイオンを引き出し、集束レンズ7および対物レンズ14で集束イオンビームとして半導体デバイス等の試料を加工、検査、観察等の処理をする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】ヘリコン波を励起してガスをプラズマ化してイオンビームを出射するヘリコン波プラズマ型イオン源と、該ヘリコン波プラズマ型イオン源から出射されたイオンビームを集束する静電光学系とを備えたことを特徴とする集束イオンビーム装置。

【請求項 2】前記ヘリコン波プラズマ型イオン源において、プラズマ化するガスが、希ガスまたは負性ガスまたは C F 系ガスであることを特徴とする請求項 1 記載の集束イオンビーム装置。

【請求項 3】前記ヘリコン波プラズマ型イオン源を、ガスが導入されるチャンバと、該チャンバ内に対して磁場を発生させる磁場発生手段と、該磁場発生手段によって発生した磁場にヘリコン波を励起してガスをプラズマ化するヘリコン波励起手段と、前記チャンバ内でプラズマ化されたイオンを加速する基準電極と、該基準電極によって加速されたイオンをイオンビームとして引き出す引き出し電極とを備えて構成したことを特徴とする請求項 1 記載の集束イオンビーム装置。

【請求項 4】更に前記静電光学系により集束されたイオンビームを偏向させる偏向電極を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の集束イオンビーム装置。

【請求項 5】ガスが導入されるチャンバと、該チャンバ内に対して磁場を発生させる磁場発生手段と、該磁場発生手段によって発生した磁場にヘリコン波を励起してガスをプラズマ化するヘリコン波励起手段と、前記チャンバ内でプラズマ化されたイオンを加速する基準電極と、該基準電極によって加速されたイオンをイオンビームとして引き出す引き出し電極とを備えたことを特徴とするヘリコン波プラズマ型イオン源。

【請求項 6】前記磁場発生手段によって発生する磁場強度を制御する制御手段を備えたことを特徴とする請求項 5 記載のヘリコン波プラズマ型イオン源。

【請求項 7】ヘリコン波を励起してガスをプラズマ化するヘリコン波プラズマ型イオン源から出射されたイオンビームを静電光学系で集束して試料に照射して処理することを特徴とする処理方法。

【請求項 8】前記処理は、化学反応に基づく処理であることを特徴とする請求項 7 記載の処理方法。

【請求項 9】ヘリコン波を励起してガスをプラズマ化するヘリコン波プラズマ型イオン源から出射されたイオンビームを静電光学系で集束して試料に照射して試料の電気的特性を損なうことなく加工することを特徴とする処理方法。

【請求項 1 0】前記加工は、化学反応に基づく加工であることを特徴とする請求項 9 記載の処理方法。

【請求項 1 1】ヘリコン波を励起してガスをプラズマ化するヘリコン波プラズマ型イオン源から出射されたイオンビームを静電光学系で集束して半導体デバイスに照射して処理して半導体デバイスを製造することを特徴とす

る半導体デバイスの製造方法。

【請求項 1 2】前記処理は、化学反応に基づく処理であることを特徴とする請求項 1 1 記載の半導体デバイスの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】本発明は、集束イオンビームを照射することによって例えば半導体 L S I 等の試料、その製造ラインにおける修正も含む加工、観察、検査等の処理を行う処理方法及び半導体デバイスの製造方法並びに集束イオンビーム装置及びヘリコン波プラズマ型イオン源に関する。

## 【0 0 0 2】

【従来の技術】集束イオンビームの応用は、半導体製造分野でのマスキングイオン注入、イオン露光、マスク修正、配線修正、分析分野など多岐に渡っている。マスク修正や配線修正では液体金属イオン源が用いられ、また分析分野ではデュオプラズマトロン型イオン源などが用いられている。ところで、半導体製造分野では、製造ラインにおけるイオン注入やリソグラフィ、エッチング等の各工程において、それら各工程が所期の仕様を満足しているかを管理することが、製造歩留まりを向上する上で、非常に重要となってきている。そこで、S i ウエハや S i デバイスなどの試料に対して F I B を照射した際、電氣的汚染やビーム照射によるコンタミネーションを発生することなく製造ラインの試料の特定箇所を微細加工、微細成膜、分析することが可能な集束イオンビーム発生手段が要求された。この要求を実現できるプラズマイオン源である磁界とマイクロ波電界との相互作用を利用した E C R プラズマ ( E l e c t r o n C y c l o t r o n R e s o n a n c e プラズマ ) 発生源と E H D イオン源とを備えた処理装置及び処理方法については、特開平 7 - 3 2 0 6 7 0 号公報に記載されている。また上記要求を実現できる電界電離ガスイオン源や E H D イオン源を備えた検査方法およびその装置については、特開平 6 - 3 4 2 6 3 8 号公報に記載されている。

## 【0 0 0 3】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術に記載された電界電離ガスイオン源や E H D イオン源を用いる場合、対象とする試料もしくは試料製造ラインにコンタミネーションを与えないために対象とする試料の表面の材質に応じてイオン材料を交換したり、その先にある絞り込むアパーチャ等の材質を交換する必要があり、非常に操作が複雑である。この課題を改善したのが上記従来技術に記載されたプラズマイオン源としての E C R プラズマ発生源である。しかしながら、プラズマイオン源としての E C R プラズマ発生源においては、マイクロ波回路を導波管等の立体回路で構成し、更に磁束密度を 8 7 5 ガウス程度に高くするため磁界を発生するためのコイルが大口径 ( 直径 5 0 0 m m 程度 ) 化し、その結果

装置サイズが大きくなってしまふと共にイオン電流密度が低いため加工速度が遅いという課題を有していた。

【0004】本発明の目的は、上記従来技術の課題を解決すべく、小型化されたプラズマイオン源を用いてウエハやデバイス等の試料に対して集束イオンビームを照射して、電氣的汚染やコンタミネーションの発生を防止して試料の特定箇所に対して微細加工、微細成膜、観察、分析、計測、検査等処理を実現できるようにした処理方法及び半導体デバイスの製造方法並びに集束イオンビーム装置を提供することである。また本発明の他の目的は、プラズマ密度およびイオンビームの電流密度を高くしたプラズマイオン源を用いてウエハやデバイス等の試料に対して集束イオンビームを照射して、電氣的汚染やコンタミネーションの発生を防止して試料の特定箇所に対して微細加工、微細成膜、観察、分析、計測、検査等処理を高速で実現できるようにした処理方法及び半導体デバイスの製造方法並びに集束イオンビーム装置を提供することである。また本発明の他の目的は、小型化し、且つイオンビームの電流密度を高くして処理速度を高めたヘリコン波プラズマ型イオン源及び集束イオンビーム装置を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、ヘリコン波を励起してガスをプラズマ化してイオンビームを出射するヘリコン波プラズマ型イオン源と、該ヘリコン波プラズマ型イオン源から出射されたイオンビームを集束する静電光学系とを備えたことを特徴とする集束イオンビーム装置である。また本発明は、前記集束イオンビーム装置において、前記ヘリコン波プラズマ型イオン源においてプラズマ化するガスが、希ガスまたは $O_2$ ガスや $SF_6$ ガス等の負性ガスまたは $CF_4$ 、 $CHF_3$ 、 $C_2F_6$ 、 $C_3F_8$ あるいは $C_4F_8$ ガス等の $CF$ 系ガスであることを特徴とする。また本発明は、前記集束イオンビーム装置において、前記ヘリコン波プラズマ型イオン源を、ガスが導入されるチャンバと、該チャンバ内に対して磁場を発生させる磁場発生手段と、該磁場発生手段によって発生した磁場にヘリコン波を励起してガスをプラズマ化するヘリコン波励起手段と、前記チャンバ内でプラズマ化されたイオンを加速する基準電極と、該基準電極によって加速されたイオンをイオンビームとして引き出す引き出し電極とを備えて構成したことを特徴とする。また本発明は、前記集束イオンビーム装置において、更に前記静電光学系により集束されたイオンビームを偏向させる偏向電極を備えたことを特徴とする。

【0006】また本発明は、ガスが導入されるチャンバと、該チャンバ内に対して磁場を発生させる磁場発生手段と、該磁場発生手段によって発生した磁場にヘリコン波を励起してガスをプラズマ化するヘリコン波励起手段と、前記チャンバ内でプラズマ化されたイオンを加速す

る基準電極と、該基準電極によって加速されたイオンをイオンビームとして引き出す引き出し電極とを備えたことを特徴とするヘリコン波プラズマ型イオン源である。また本発明は、前記ヘリコン波プラズマ型イオン源において、前記磁場発生手段によって発生する磁場強度を制御する制御手段を備えたことを特徴とする。

【0007】また本発明は、ヘリコン波を励起してガスをプラズマ化するヘリコン波プラズマ型イオン源から出射されたイオンビームを静電光学系で集束して試料に照射して処理することを特徴とする処理方法である。また本発明は、前記処理方法において、前記処理は、化学反応に基づく処理であることを特徴とする。

【0008】また本発明は、ヘリコン波を励起してガスをプラズマ化するヘリコン波プラズマ型イオン源から出射されたイオンビームを静電光学系で集束して試料に照射して試料の電氣的特性を損なうことなく加工することを特徴とする処理方法である。また本発明は、前記処理方法において、前記加工は、化学反応に基づく加工であることを特徴とする。また本発明は、前記処理方法において、前記プラズマ化するガスが、希ガスまたは負性ガスまたは $CF$ 系であることを特徴とする。

【0009】また本発明は、ヘリコン波を励起してガスをプラズマ化するヘリコン波プラズマ型イオン源から出射されたイオンビームを静電光学系で集束して半導体デバイスに照射して処理して半導体デバイスを製造することを特徴とする半導体デバイスの製造方法である。

【0010】また本発明は、前記半導体デバイスの製造方法において、前記処理は、化学反応に基づく処理であることを特徴とする。また本発明は、前記半導体デバイスの製造方法において、前記プラズマ化するガスが、希ガスまたは負性ガスまたは $CF$ 系であることを特徴とする。また本発明は、ヘリコン波を励起して希ガスをプラズマ化し、スパッタ開始電圧の高い金属材料または半導体デバイスの不純物とならない金属材料でできた電極に開けた穴から引き出した正イオンビームを、静電集束レンズにより集束した集束イオンビームにより半導体デバイスをその電氣的特性を変えずに加工、観察することを特徴とした半導体デバイスの製造方法である。また本発明は、ヘリコン波を励起して $O_2$ ガスをプラズマ化し、スパッタ開始電圧の高い金属材料または半導体デバイスの不純物とならない金属材料でできた電極に開けた穴から引き出した負イオンビームを、集束レンズにより集束した集束イオンビームにより半導体デバイスをチャージアップさせることなく加工、観察することを特徴とした半導体デバイスの製造方法である。

【0011】また本発明は、ヘリコン波を励起して $SF_6$ ガスをプラズマ化し、スパッタ開始電圧の高い金属材料または半導体デバイスの不純物とならない金属材料でできた電極に開けた穴から引き出した負イオンビームを、集束レンズにより集束した集束イオンビーム

により半導体デバイスをチャージアップさせず、かつ化学反応を利用した高速加工、観察することを特徴とした半導体デバイスの製造方法である。また本発明は、ヘリコン波を励起して $CF_4$ 、 $CHF_3$ 、 $C_2F_6$ 、 $C_3F_8$ あるいは $C_4F_8$ ガスをプラズマ化し、150度〜300度に加熱し、スパッタ開始電圧の高い金属材料または半導体デバイスの不純物とならない金属材料でできた電極に開けた穴から引き出したイオンビームを、集束レンズにより集束した集束イオンビームにより半導体デバイスを高速選択加工、観察することを特徴とした半導体デバイスの製造方法である。以上説明したように、本発明に係るヘリコン波プラズマイオン源は、磁束密度がECRプラズマに比べて低くて良いことと、導波管などの立体回路を必要としない高周波を用いることができ、装置サイズをECRプラズマ型に比べて、1/5（直径100mm程度）まで小型化することができる。さらに、ヘリコン波プラズマは、他のプラズマに比べて、プラズマ密度が高く、イオンビームの電流密度を上げることができ、その結果対象とする半導体デバイス等の試料に対して高速で加工などの処理を実現することができる。

【0012】また本発明によれば、高周波電源からヘリコン波励起用アンテナへ供給した高周波電力によりヘリコン波を発生し、希ガスをプラズマ化してプラズマ中のイオンを、30ボルト以下のエネルギーでタングステンあるいはタンタル電極の直径が1 $\mu$ m以下の穴を通して引き出し、イオンエネルギー幅が数eV以下、角度電流密度が数 $\mu$ A/sr以上であれば、2段集束レンズを用いてビーム電流を100pA以上、ビーム直径を0.1 $\mu$ m以下にして、半導体LSIの電気的特性に悪影響を与えずに加工、観察等の処理を実現することができる。また、上記希ガスを $O_2$ ガスや $SF_6$ ガス等の負性ガスに変えて加速電圧の極性を負にすれば、負の電荷をもつ集束イオンビームが得られ、絶縁物を加工、観察してもビーム照射面がチャージアップすることがなく、加工位置ずれがなく加工、観察することができる。またFイオンは反応性が高く、シリコン、ポリシリコン、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜に対して加工速度を増速することができる。

【0013】さらに、上記希ガスや負性ガスに変えて反応性ガスである $CF_4$ 、 $CHF_3$ 、 $C_2F_6$ 、 $C_3F_8$ 、 $C_4F_8$ ガス等のCF系ガスをを用い、かつプラズマに電圧を印加する基準電極とイオン引き出し電極を150〜300度に加熱しながら、CF系のイオンを集束イオンビームとして引き出した場合には、シリコン、ポリシリコン、シリコン窒化膜に対してシリコン酸化膜を高選択比で加工することができる。また、プラズマ発生に用いるガスは希ガスのまま、加工対象物の近傍にガスノズルを用いて、イオンビーム照射領域に反応性ガスである $Cl_2$ 、 $XeF_2$ 、 $CF_4$ 、 $CHF_3$ 、 $C_2F_6$ 、 $C_3F_8$ 、 $C_4F_8$ ガスを流して化学反応をさせることによって加工速度を

増速することも可能である。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を図を用いて説明する。図1は、ヘリコン波プラズマをイオン源として採用した集束イオンビーム装置の要部を模式的に示した断面図である。ヘリコン波プラズマイオン源100は、希ガスや負性ガスやCF系ガスがガス導入ポート6から内部に導入されてプラズマ化される石英ガラスチャンバ（室）22と、石英ガラスチャンバ（室）22内に磁場を発生させるマグネット2と、該マグネット2を保持して石英ガラスチャンバ（室）22内の磁場強度を調整（制御）できるように矢印方向に移動調整可能に構成された（即ち磁場強度を調整（制御）できる制御手段を備えた）マグネットホルダ1と、高周波電源（図示せず）から同軸ケーブルの高周波導入コネクタ4を介して高周波電力（高周波として約1〜100MHz、電力として最大1kW程度、通常100〜300W程度）が印加され、上記マグネット2によって発生した磁場に対して平行に電磁波を伝搬させてヘリコン波を励起してプラズマ化するヘリコン波励起用アンテナ3と、石英ガラスチャンバ（室）22内でプラズマ化されたイオンを引き出すためのイオン引き出しアセンブリ5と、高周波の漏洩を防止するためのシールド30とから構成され、イオンビームチャンバ19の上部に備えられている。なお、ガス導入ポート6には排気ポートも備えられている。

【0015】そして集束イオンビーム装置として、ヘリコン波プラズマイオン源100のイオン引き出しアセンブリ5から引き出されたイオンビームを半導体デバイス等の試料（加工対象物）16上に集束するための2段の集束レンズ（静電光学系）7、対物レンズ（静電光学系）14と、アライナ・スティグマ8と、イオンビームの照射をON、OFFするためのブランカ10およびブランキングアパーチャ・フアラデーカップ11と、集束されたイオンビームをX、Y軸方向に偏向させるディフレクタ12および13とを備えている。なお、半導体デバイス等の試料（加工対象物）16は、X、Y軸方向に移動可能な試料ステージ17上に載置される。15は、試料16の表面から得られる二次荷電粒子24を検出する二次荷電粒子検出器であり、この二次荷電粒子検出器15で検出される二次荷電粒子の画像をディスプレイ等の表示手段に表示することによって、試料16の表面を観察することができる。

【0016】18は、集束されたイオンビーム23が照射された試料16上に塩素ガスやフッ化キセノンガスなどの化学的な反応性の高いガスを吹き付けるガスノズルであり、このガスノズル18によって吹き付けて加工面に吸着したガス分子が照射されたイオンビーム23によるエネルギーにより加工材質と化学反応を起こしてイオンビーム23による物理的スパッタに加えて化学的エッ

チング反応を進めるためのものである。25は、チャージアップ中和用電子源であり、集束されたイオンビーム23が照射されたことによって試料上にチャージアップした電荷を中和させるためのものである。20は、静電光学系7、14、アライナ・スティグマ8、ブランカ10、ディフレクタ12および13に電圧または制御電圧信号を供給する電圧導入端子である。

【0017】次に、本発明に係るヘリコン波プラズマをイオン源として採用した集束イオンビーム装置の動作について図1を用いて説明する。まず、ガス導入ポート6から石英ガラスチャンバ(室)22内に、圧力が0.1~100Pa程度になるように希ガスを導入する。制御手段(移動調整可能に構成されたマグネットホルダ1)によって強度が調整(制御)された磁場がマグネット2によって石英ガラスチャンバ(室)22内に形成される。そして、図中には示していないが、同軸ケーブルにて高周波導入コネクタ4に接続された高周波電源(図示せず)から高周波電力(高周波として約1~100MHz、電力として最大1kW程度、通常100~300W程度)をヘリコン波励起用アンテナ3へ供給する。ヘリコン波励起用アンテナ3は原理的には二つのワンターンコイルからできており、各コイルに逆向きに高周波電流を流すことにより、二つのコイル間に整数分の1波長のヘリコン波が励起され、波の磁場成分は軸方向が最大になる。ヘリコン波励起用アンテナの種類は図2、および図3に示すようなアンテナ3、アンテナ103のような巻き方が存在するが、発生させるM=0、M=1やM=-1モードの電磁界パターンにより使い分けられる。本実施の形態では図2に示すヘリコン波励起用アンテナ3を採用したが、他の巻き方のアンテナでも同様の性能が得られる。発生したヘリコン波はヘリコン波励起用アンテナ3の上部に置かれた磁場強度を調整(制御)可能なマグネット2による磁界との相互作用により、石英ガラスチャンバ22内にガス導入および排気ポート6からチャンバ内部が圧力0.1~100Pa程度になるよう流した希ガス、例えばアルゴンガスをプラズマ化する。ヘリコン波の位相速度がプラズマ中の電子の熱運動速度のオーダー近くなると、電子はヘリコン波と直接相互作用を生じてエネルギーを得るようになり、高密度のアルゴンガスプラズマ21が石英ガラスチャンバ22内に生成される。即ち、高周波電源(図示せず)から高周波導入コネクタ4を介してヘリコン波励起用アンテナ3へ供給した高周波電力により、ヘリコン波を発生して希ガスをプラズマ化することができる。このようにヘリコン波励起用アンテナ3へ高周波電力を供給してヘリコン波を発生するようにしたので、ヘリコン波励起用アンテナ3から発生させる磁束密度を低くすることができ、小型化することができる。

【0018】ところで、ヘリコン波とは、次のように定義される。電磁場が磁場と平行に伝搬するときには、波

数と角周波数との間に分散関係が成立ち、電磁波は右回り(R波)と左回り(L波)の二つの円偏波に分かれる。 $\omega_{ce}$ は電子が磁力線の周りを回る周波数で、 $\omega_{ci}$ はイオンが磁力線の周りを回る角周波数で、これらの周波数間のR波がヘリコン波(ホイスター波)である。このように電磁波の周波数と磁場強度(電子が磁力線の周りを回る角周波数)に関係している。)はある一定の関係があり、ヘリコン波のエネルギーが電子に与えられる最適磁場強度が存在する。従って、この最適値を得るために、制御手段(移動調整可能に構成されたマグネットホルダ1)によって磁場強度を調整(制御)する必要がある。

【0019】石英ガラスチャンバ22内において生成されたプラズマ21は、イオン引き出しアッセンブリ5に接触する。このイオン引き出しアッセンブリ5は、二つの電極からできており、図4に示すような構造となっている。スパッタ開始電圧が30ボルト程度である材料あるいは加工対象の半導体デバイスの不純物とならない材料であるタングステンあるいはタンタル等で形成された板材の中央に穴を開けた基準電極26と、中央に穴を開けた石英ガラススペーサ27を挟んで、タングステンあるいはタンタルの板材の中央に直径1 $\mu$ m以下の穴を開けたイオン引き出し電極28をホルダ29に組み込んだ構造である。接触したプラズマ21は図中には記載されていない加速電源から基準電極26に印加された加速電圧30kV程度の電位となり、図中には記載されていない引き出し電源からイオン引き出し電極28に印加されたイオン引き出し電圧29、97kV程度により、イオンは図中の下方に向かって加速され、基準電極26、石英ガラススペーサ27、イオン引き出し電極28のそれぞれの中心の穴を通過する。穴を通過しないイオンは基準電極26やイオン引き出し電極28に衝突するが、スパッタ開始電圧より低いエネルギーのイオンであるので、基準電極26やイオン引き出し電極28からは金属イオンは放出されないか、あるいは加工対象の半導体デバイスの不純物とならない材料(半導体の禁制帯にキャリアの捕獲準位を持たない物質)なのでスパッタされても半導体デバイスを汚染しない。

【0020】即ち、石英ガラスチャンバ22内において生成されたプラズマ21から電界によりイオンを引き出すには、必ず金属の電極が必要となる。その結果、引き出そうとするイオンがその電極にあたり、電極材料がスパッタされてこのスパッタされた金属イオンがイオンビーム中に混入すると不純物となって加工対象物を汚染してしまうことになる。従って、イオンのエネルギーがスパッタが開始するしきい値電圧より低くする必要がある。プラズマ21から電極へ向かうイオンのエネルギーは、基準電極26とイオン引き出し電極28との電位差でほぼ決まるので、この電位差を電極材料のしきい値電圧より低くすればよい。但し、電位差を大きくした方が

電流を多くとれるので、電極用の金属材料としてスパッタ開始しきい値電圧（30ボルト程度）の高いタンタルやタングステンを用いた。

【0021】引き出されたイオンビーム23は、例えば3枚電極からなるバトラー型の集束レンズ7に入射し、この3枚電極間に加えられた電界によって集束される。集束レンズ7の出口付近でイオンビーム23のビーム径は直径コンマ数（0.2～0.6）μm程度となり、ビームの偏向補正および非点収差を補正するアライナ・スティグマ8、ビームをブランキングするためのブランカ10、ブランキング時の受け兼ビーム電流モニタのためのブランキングアパーチャ・ファラデーカップ11を通過する。その後、12、13からなるメインディフレクタにより加工対象物の面上の任意の位置にビームを照射するために、イオンビーム軌道が偏向される。さらに、イオンビーム23は、加工対象物16面上に結像するために、対物レンズ14により集束され、加工対象物16面上でビーム径0.05～0.2μm程度となる。イオンビーム23が加工対象物16に打ち込まれると、イオンの加速エネルギーにより物理的にスパッタリングが起こって、加工対象物面が加工されると同時に、二次荷電粒子24が発生する。発生した二次荷電粒子24は、イオンビーム23近傍に置かれた二次荷電粒子検出器15に入射する。この二次荷電粒子検出器15は二次荷電粒子をいったん光電子に変換して増幅する装置であり、最終的には二次荷電粒子24を電気信号としてとらえることができる。これを利用してメインディフレクタ12、13の偏向信号と同期してモニタ上を走査している輝点に輝度変調をかけると、走査型電子顕微鏡と同じ原理でイオンビーム23の走査範囲の加工対象物面上の凹凸画像、二次イオン像を得ることができる。この二次イオン像を用いて加工位置の位置決めや、断面観察を行う。

【0022】上記の方法により半導体LSIのアルミ配線などの金属部分の加工、観察を行うことができる。しかし、半導体LSIにはシリコン酸化膜などの絶縁物も用いられており、これを加工、観察する場合にはイオンビームによるチャージアップが問題となる。アルゴンなどのイオンは正の電荷を持ったイオンであり、加工面に正の電荷が打ち込まれることにより、絶縁物表面は正電位にチャージアップする。このチャージアップが進むとイオンビームの軌道がずれ、加工位置ずれを起こす。したがって、絶縁物を加工、観察する場合には図1中に示したチャージアップ中和用電子源25を稼働して負の電荷を持つ電子をイオンビーム走査領域に照射して、チャージアップを防止する。また、本装置ではプラズマをイオンソースとしているため、例えばアルゴンガスの代わりに酸素ガスを供給して酸素ガスプラズマから酸素イオンビームを引き出せば、酸素イオンが負の電荷を持つためにイオンビーム23は負イオンビームにすることができる。SF<sub>6</sub>等の負性ガスを用いても、負イオンビーム

にすることができる。「物性応用のための負イオンの生成と低帯電負イオン注入技術」応用物理、第65巻、第7号、1996年7月号によれば、負イオンビームを絶縁物面に照射した場合、加工面から放出される二次荷電粒子のうちほとんどが負の二次電子であるため、電荷のバランスがとれやすく、帯電電位も数ボルト程度で定常状態となるとされており、負イオンビーム23の照射による加工位置ずれはなくなる。

【0023】一方、加工速度の面では、希ガスの種類を変えてもイオンの質量差による物理的スパッタ率の変化は数倍程度の変化しか望めない。そこで、塩素ガスやフッ化キセノンガスなどの化学的な反応性の高いガスをガスノズル18から加工面に吹き付けると、加工面に吸着したガス分子がイオンビーム23によるエネルギーにより、加工材質と化学反応を起こして、イオンビーム23による物理的スパッタに加えて化学的エッチング反応が進む。この結果、イオン種の変更では実現できない数十倍の加工速度向上が可能である。ただし、使用するガスが加工対象物16の電気的特性に悪影響を及ぼしたり、半導体製造ライン全体に影響を与える場合には使用しない。また、SF<sub>6</sub>、CF<sub>4</sub>、CHF<sub>3</sub>、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>等の反応性ガスをプラズマ化した場合には、フッ素イオンビームやCF系イオンビームが得られる。フッ素イオンビームの場合には、上記ガスノズル18からフッ化キセノンを用いたときと同様に、イオンビームの物理的スパッタに加えて、化学的エッチングによる加工速度増加効果が得られる。ただし、ガスノズル18の場合に比べて反応する粒子が少ないために、数倍の加工速度増加となる。一方、CF<sub>4</sub>、CHF<sub>3</sub>、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>の反応性ガスプラズマから引き出したCF系イオンビームの場合には、例えば、シリコン酸化膜SiO<sub>2</sub>に照射すると

$$\text{SiO}_2 + \text{CF} \rightarrow \text{SiF} + \text{CO}_2$$

となつて、カーボンが残らずにSiO<sub>2</sub>を加工することができる。これに対して、シリコンやポリシリコンに照射した場合には

$$\text{Si}(\text{Poly-Si}) + \text{CF} \rightarrow \text{SiF} + \text{C}$$

となり、加工表面にカーボンが残り、Siの加工速度が抑制される。従って、シリコン酸化膜とシリコンあるいはポリシリコンとの選択比が高くなり、半導体LSIの絶縁膜の穴開けの際に加工終点となるSi基板面を誤って加工することがなくなる。ただし、石英ガラスチャンバ22内は、CF系ラジカルが多く発生してチャンバ内にポリマー膜が堆積するため、基準電極26やイオン引き出し電極28を150度から300度程度までホルダ29に組み込んだヒータにより加熱して、ポリマー膜の堆積を抑制しなければならない。

【0024】以上のように、本ヘリコン波プラズマをイオン源として採用した集束イオンビーム装置を用いれ

ば、従来不可能であった希ガスイオンを半導体LSIの検査、修正に必要なビーム径0.05~0.2 $\mu$ m以下にすることができ、また半導体LSIの電気的特性に影響することなく加工、観察ができる。さらにシリコン酸化膜などの絶縁物の加工においても、希ガスを酸素ガスに変更すれば、チャージアップによる加工位置ずれがなく加工、観察できる。また、ガスノズルから塩素ガスやフッ化セレンガスなどを加工面に吹き付けながら、高速なイオンビーム加工が行える。また、CF<sub>4</sub>ガスなどをプラズマ化すれば、CF系イオンビームによる高選択比加工が実現できる。以上説明したように、本発明に係るヘリコン波プラズマイオン源100は、磁束密度が従来のECRプラズマイオン源に比べて低くて良いことと、導波管などの立体回路を必要としない高周波を用い

表 1

|                                  | ヘリコン波<br>プラズマ    | ECRプラズマ          | TCP              |
|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| 周波数 (MHz)                        | 13.56            | 2450             | 13.56            |
| 圧力 (Pa)                          | 0.1              | 0.05             | 0.05             |
| プラズマ密度<br>(個/m <sup>3</sup> )    | 10 <sup>18</sup> | 10 <sup>18</sup> | 10 <sup>18</sup> |
| 電子温度 (eV)                        | ~4               | ~4               | ~4               |
| イオン電流密度<br>(mA/cm <sup>2</sup> ) | 100              | 10               | 10               |

【0026】また、半導体デバイス等に対して電気的特性に悪影響を及ぼすことなく、高速で加工等の処理を行うことができるので、検査やビット救済などの修正に使用することができる。

【0027】

【発明の効果】本発明によれば、小型のヘリコン波プラズマイオン源を用いることによって、半導体デバイス等の試料や試料を製造する製造ラインに対して電気的特性に悪影響を与えずに高速で加工、検査、観察等の処理を行うことができる効果を奏する。また本発明によれば、小型のヘリコン波プラズマイオン源を用いて負の電荷をもつ集束イオンビームを得て絶縁物に対して照射することによって加工、検査、観察等の処理をしても、ビーム照射面がチャージアップするのを防止して、絶縁物に対して加工位置ずれのない加工、検査、観察等の処理を実現することができる効果を奏する。

【0028】また本発明によれば、小型のヘリコン波プラズマイオン源を用いてCF系の集束イオンビームを得てシリコン酸化膜を有する半導体デバイスに対して照射しても、シリコン酸化膜をシリコン、ポリシリコンに対して高選択比で加工することができる効果を奏する。

【0029】また本発明によれば、小型のヘリコン波プラズマイオン源を用い、加工対象物の近傍にガスノズル

ることができ、装置サイズをECRプラズマ型イオン源に比べて1/5 (直径100mm程度)まで小型化することができると共に、次の表1に示すようにヘリコン波プラズマは、他のプラズマ (磁界とマイクロ波電界との相互作用を利用したECRプラズマ (Electron Cyclotron Resonance)、高周波電力をトランス結合でプラズマに供給するTCP (Transfer Coupled Plasma))に比べてプラズマ密度が高く、イオンビームの電流密度を10倍程度高めることができ、その結果加工等の処理速度を早めることができる。

【0025】

【表1】

によりイオンビーム照射領域に反応性ガスを流すことによって、半導体デバイス等の試料に対して電気的特性に悪影響を与えずにして更に高速で加工、検査、観察等の処理を行うことができる効果を奏する。また本発明によれば、プラズマイオン源として小型化することによって装置全体としても小型化をはかると共にイオンビームの電流密度を増加して加工等の処理の高速化をはかった集束イオンビーム装置を実現することができる効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るヘリコン波プラズマをイオン源として採用した集束イオンビーム装置の一実施の形態を示した要部断面図である。

【図2】本発明に係るヘリコン波プラズマイオン源におけるM=0ヘリコン波励起用アンテナの巻き方を模式的に示した図である。

【図3】本発明に係るヘリコン波プラズマイオン源におけるM=±1ヘリコン波励起用アンテナの巻き方を模式的に示した図である。

【図4】本発明に係る集束イオンビーム装置のヘリコン波プラズマイオン源におけるイオン引き出しアッセンブリを模式的に示した断面図である。

【図5】本発明に係る集束イオンビーム装置のヘリコン



波プラズマイオン源における加速電圧に対するビーム径の計算結果を示した図である。

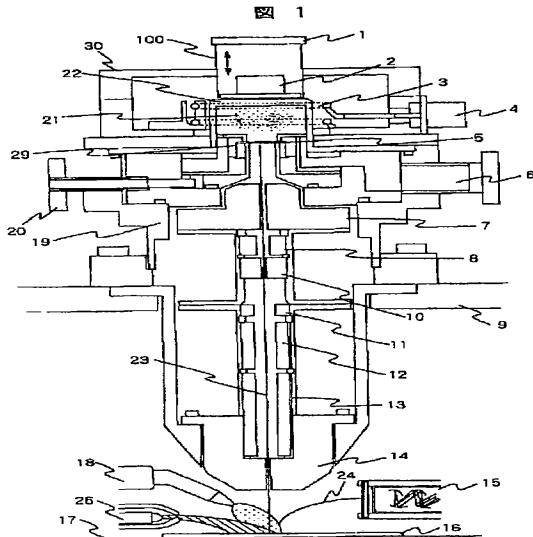
【符号の説明】

1…マグネットホルダ、 2…マグネット、 3、 10 3…ヘリコン波励起用アンテナ、 4…高周波導入コネクタ、 5…イオン引き出しアッセンブリ、 6…ガス導入および排気ポート、 7…集束レンズ（静電光学系）、 8…アライナ・スティグマ、 9…試料チャンバ、 10…プランカ、 11…プランキングアパーチャ・ファラデーカップ、 12、 13…ディフレクタ、

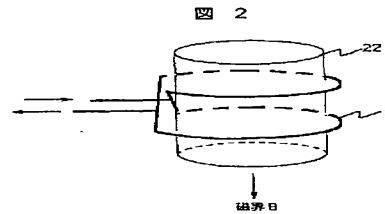
10

14…対物レンズ（静電光学系）、 15…二次荷電粒子検出器、 16…試料（加工対象物）、 17…試料ステージ、 18…ガスノズル、 19…イオンビームチャンバ、 20…電圧導入端子、 21…ガスプラズマ、 22…石英ガラスチャンバ、 23…イオンビーム、 24…二次荷電粒子、 25…チャージアップ中和用電子源、 26…基準電極、 27…石英ガラススペーサ、 28…イオン引き出し電極、 29…ホルダ、 30…シールド、 100…ヘリコン波プラズマイオン源

【図 1】

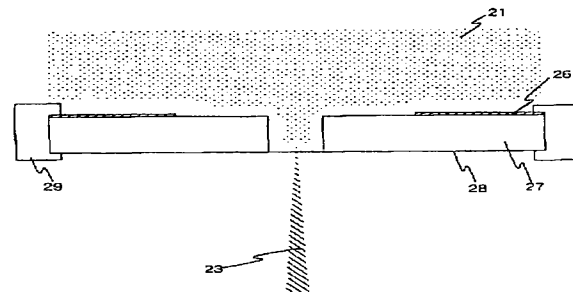


【図 2】



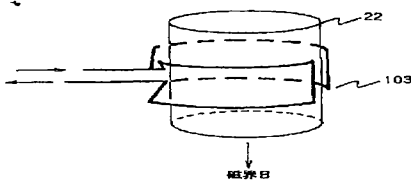
【図 4】

図 4



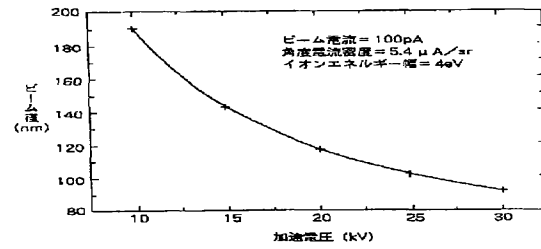
【図 3】

図 3



【図 5】

図 5



フロントページの続き

(72) 発明者 西村 規正  
神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式  
会社日立製作所生産技術研究所内

(72) 発明者 嶋瀬 朗  
神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式  
会社日立製作所生産技術研究所内